

## HIGH-HEAT-CONDUCTIVITY SUBSTRATE AND ITS MANUFACTURE

**Publication number:** JP9102562 (A)

**Publication date:** 1997-04-15

**Inventor(s):** MURAMATSU KAZUO; NISHIZAWA SETSU; SUZUKI TETSUO; KOBASHI KOJI;  
KAWAI AKIHIRO

**Applicant(s):** KOBE STEEL LTD

**Classification:**

- **International:** C04B35/52; C30B25/00; C30B29/04; H01L23/14; H01L23/373; C04B35/52;  
C30B25/00; C30B29/04; H01L23/12; H01L23/34; (IPC1-7): H01L23/14; C04B35/52;  
C30B25/00; C30B29/04; H01L23/373

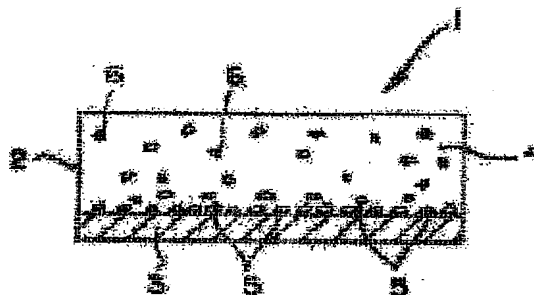
- **European:**

**Application number:** JP19950260396 19951006

**Priority number(s):** JP19950260396 19951006

### Abstract of JP 9102562 (A)

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a high-heat-conductivity substrate which has an excellent heat conductivity and thermally expanding characteristic and can be reduced in manufacturing cost, and the surface of which can be finished to a specular surface and a method for manufacturing the substrate. **SOLUTION:** A diamond film is vapor-phase synthesized to the lower surface (second surface) of a carbon substrate 2 which is composed mainly of a hard carbon material 4 and in which diamond grains 5 and graphite grains 6 are scattered. The upper surface (first surface) of the substrate 4 is finished to a specular surface.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-102562

(43) 公開日 平成9年(1997)4月15日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 23/14			H 0 1 L 23/14	D
C 0 4 B 35/52			C 3 0 B 25/00	
C 3 0 B 25/00			29/04	B
29/04			C 0 4 B 35/52	G
H 0 1 L 23/373			H 0 1 L 23/36	M
審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 9 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-260396

(22) 出願日 平成7年(1995)10月6日

(71) 出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

(72) 発明者 村松 一生

兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

株式会社神戸製鋼所神戸本社内

(72) 発明者 西澤 節

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72) 発明者 鈴木 哲雄

兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号

株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 藤巻 正憲

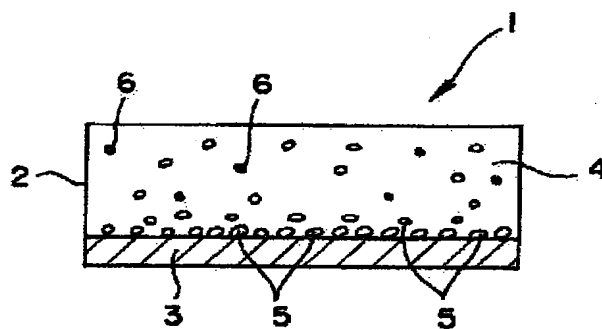
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高熱伝導性基板及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 優れた熱伝導性を有すると共に、表面を容易に鏡面研磨することができ、また良好な熱膨張の特性を有し、製造コストを低減することができる高熱伝導性基板及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 主成分が硬質炭素材料4からなり、ダイヤモンド粒5及び黒鉛粒6を分散させた炭素基板2の下面(第2面)にダイヤモンド膜を気相合成させる。そして、炭素基板4の上面(第1面)には鏡面研磨を施す。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 主成分が硬質炭素からなり鏡面研磨された第1面及びこの第1面の反対側の第2面を有する第1層と、ダイヤモンドからなり前記第2面の一部又は全部に被着された第2層とを有することを特徴とする高熱伝導性基板。

【請求項2】 前記第2層は気相合成により形成されていることを特徴とする請求項1に記載の高熱伝導性基板。

【請求項3】 前記第1層には、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が分散されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の高熱伝導性基板。

【請求項4】 前記ダイヤモンド粉末は、前記第1層の第1面側よりも第2面側で濃度が高くなることを特徴とする請求項3に記載の高熱伝導性基板。

【請求項5】 前記ダイヤモンド粉末の平均粒径は0.1乃至50 $\mu$ mであり、前記黒鉛粉末の平均粒径は0.5乃至50 $\mu$ mであることを特徴とする請求項3又は4に記載の高熱伝導性基板。

【請求項6】 前記第2層は、前記ダイヤモンド粉末を核として気相成長したダイヤモンド膜であることを特徴とする請求項3乃至5のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板。

【請求項7】 前記第1層の第2面は、ダイヤモンド粉末又はダイヤモンドペーストを使用して機械研磨及び超音波処理によるキズ付け処理が施されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板。

【請求項8】 前記第2層は、前記第1層の第2面にダイヤモンド粉末を塗布し、これを核として気相成長させたものであることを特徴とする請求項1に記載の高熱伝導性基板。

【請求項9】 前記ダイヤモンド粉末の平均粒径が0.1乃至5 $\mu$ mであることを特徴とする請求項8に記載の高熱伝導性基板。

【請求項10】 前記第1層における第2面側の表層部には、前記ダイヤモンド粉末が50体積%以上分散されていることを特徴とする請求項9に記載の高熱伝導性基板。

【請求項11】 前記第2層の厚さは、少なくとも5 $\mu$ m以上であることを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板。

【請求項12】 前記第2層は、別途気相合成によって形成された自立性のダイヤモンド膜であることを特徴とする請求項1に記載の高熱伝導性基板。

【請求項13】 前記第2層は、強制冷却が可能であることを特徴とする請求項1乃至12のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板。

【請求項14】 前記第2層には、ボロンがドーピングされていることを特徴とする請求項1乃至13のいずれ

が1項に記載の高熱伝導性基板。

【請求項15】 ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末に加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、その後少なくとも前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程と、前記第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する工程と、その後再度前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする高熱伝導性基板の製造方法。

【請求項16】 熱硬化性樹脂粉末、又はダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末を、ダイヤモンド粉末が敷かれた型枠内に充填した後、加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、この第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する工程と、前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする高熱伝導性基板の製造方法。

【請求項17】 ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂に加圧加熱成形を施して得られた第1成形体を、ダイヤモンド粉末が敷かれた型枠内に装填した後、不活性ガス雰囲気中で加圧加熱成形してダイヤモンド粉末が埋め込まれた第2成形体を得、得られた第2成形体を不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、この第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する工程と、前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする高熱伝導性基板の製造方法。

【請求項18】 ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末に加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成した後、この成形体の両面を鏡面研磨することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、その後前記第1層の第2面に自立性のダイヤモンドからなる第2層を接着して加熱処理する工程とを有することを特徴とする高熱伝導性基板の製造方法。

【請求項19】 前記加圧加熱成形処理、前記焼成処理及び前記加熱処理の処理温度はいずれも600乃至1500℃であることを特徴とする請求項15乃至18のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板の製造方法。

【請求項20】 前記工程により得られた第1層の第1面を鏡面研磨する工程と、ダイヤモンド粉末が分散された有機溶媒、低粘性樹脂又は感光樹脂を前記第1層の第2面に塗布する工程と、前記ダイヤモンド粉末を核としてダイヤモンドからなる第2層を成長させる工程と、前記第1層の第1面を再度鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする請求項15乃至18のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板の製造方法。

【請求項21】 前記第2層には、ボロンがドーピングされていることを特徴とする請求項15乃至20のいずれか1項に記載の高熱伝導性基板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、高集積及び高速LSI等の電子部品を搭載するパッケージ基板に関し、特に放熱効果が優れた高熱伝導性基板及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、電子機器のダウンサイジング化に伴い、半導体装置の集積度は益々高められており、半導体素子を実装したパッケージには高密度化及び高信頼性が要求されている。

【0003】 例えば、アルミナ基板を使用したパッケージ及び多層基板は、樹脂基板を使用した場合に比べて、高密度化及び高信頼性の点において優れているため、従来、最も多く使用されている。特に、アルミナ基板上に導体配線及び誘電体層を形成し、ハイブリッド化することによって、回路が小型化されたハイブリッド集積回路(HIC)は、民生用の半導体パッケージとして広く使用されている。

【0004】 また、超大型コンピュータに使用されている超LSI、多ピンPGA、マイクロ波高出力トランジスタ及び光機能素子等については、高集積化及び高出力化の要求が高まっている。このため、半導体を実装する基板の材料には、優れた表面平滑性、半導体ベアチップを構成するシリコン材料に近い熱膨張係数、高い熱伝導性及び高精度の寸法精度等が要求されている。特に、高集積回路を実装する基板の場合には、半導体の温度が上昇すると、素子の寿命が短縮し特性が低下してしまうため、十分に放熱できるものであることが必要である。

【0005】 このような要求に対して、アルミナ基板よりも熱伝導率が高い窒化アルミニウム(AlN)を基板に使用したパッケージ、又はアルミナの放熱フィンを設けたパッケージ等が開発されている。このようなパッケージの基本的な構造は、アルミナ及びAlN等のセラミックス基板上にスクリーン印刷又は写真製版等により回路導体と誘電体とを積層させた膜多層タイプと、アルミナ等のグリーンシートに回路を印刷し積層させたグリーンシート積層タイプとがある。

【0006】 また、LSIの実装方法としては、多ピンLSIに使用されるピングリッドアレイ(PGA)パッケージ、超高速集積回路に使用されるフラットパッケージ及び低温デバイスに使用されるリードレスチップキャリア等がある。

【0007】 前述の窒化アルミニウムは、熱伝導性及び加工性が優れており、高集積及び高速のLSI用パッケージの基板材料として好適であるが、原料粉末のコストが高く、加えて製造工程が複雑であるため、LSIパッ

ケージの製造コストを低減することが困難である。なお、還元窒化法によって製造された窒化アルミニウムの原料粉末の価格は、従来使用されているアルミナ粉末の価格の約100倍である。

【0008】 また、一般に窒化アルミニウムの熱伝導率は、結晶の格子振動に依存するため、酸素、鉄、ニッケル又はシリコン等のコンタミネーション(汚染)に影響を受ける。このため、高純度の原料粉末を使用したり、製造中において雰囲気管理を厳密に行うことが必要であり、製造設備に多くの費用を要し、製造コストが増大してしまう。

【0009】 ところで、ダイヤモンドの熱伝導率は種々の物質の中で最も大きく(2400W/mK)、本来、高熱伝導性基板には最適の材料であるといえる。しかし、天然又は高温高圧合成によるダイヤモンドは、その大きさがせいぜい数ミリ角と小さく、加えて高価である。そこで、気相合成によって直径数インチの基板上にダイヤモンド膜を合成することは技術的に可能となったため、最近では気相合成法によりダイヤモンドの厚膜を合成して、これを高熱伝導性基板として使用することが試みられている。

【0010】 なお、ダイヤモンドの気相合成法としては、マイクロ波化学気相蒸着(CVD)法(特公昭59-27754号、特公昭61-3320号等)、高周波プラズマCVD法、熱フィラメントCVD法、直流プラズマCVD法、プラズマジェット法、燃焼法及び熱CVD法等が知られている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、気相合成で熱伝導性が優れた高品質のダイヤモンド膜を合成する場合には、ダイヤモンドの成長速度を1μm/時間以下にする必要があり、0.5mm程度の厚さのダイヤモンド板を合成するには500時間もの長時間を要し、他の材料に比べて製造コストが高くなってしまふ。また、ダイヤモンドは、その硬さが物質中最も硬いものであるため、表面を鏡面研削する場合にも長時間を要し、ダイヤモンド板の製造コストが高くなってしまふ。

【0012】 また、ダイヤモンド板を鏡面研磨できる面積も1cm角程度の大きさまでであるため、最低でも数センチ角の面積が必要とされるLSI用の高熱伝導性基板には、ダイヤモンドは適さない。

【0013】 加えて、ダイヤモンド等の材料は、熱膨張率がLSI素子を構成するシリコンと大きく異なるため、ダイヤモンド基板にLSI素子を実装すると、温度変化によってLSI素子が剥離したり、断線が生じたりする。なお、ダイヤモンド、アルミナ、窒化アルミニウム及びシリコンの熱膨張係数は、夫々 $1.2 \times 10^{-6}$ 、 $8 \times 10^{-6}$ 、 $5 \times 10^{-6}$ 及び $3 \times 10^{-6}$ /°Cである。

【0014】 これに対して、ガラス状炭素及び黒鉛/ガラス状炭素複合材料に代表される硬質炭素材料は、熱膨

張係数がシリコンに近く、また研磨によって容易に鏡面を得ることができる。具体的に、ガラス状炭素及び黒鉛／ガラス状炭素複合材の熱膨張係数は、夫々 $3 \times 10^{-6}$ 及び $3.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ である。しかし、硬質炭素材料は、窒化アルミニウム等の高熱伝導性材料に比べると、熱伝導性が劣っている。具体的に、ガラス状炭素、黒鉛／ガラス状炭素複合材及び窒化アルミニウムの熱伝導率は、夫々5、22及び220 W/mKである。

【0015】黒鉛結晶自体の同一面上の熱伝導率は、1600～2000 W/mKと極めて高いが、面に垂直な方向の熱伝導性は低い。このため、結晶に配向性がないガラス状炭素では、材料の熱伝導率は10～20 W/mK程度に過ぎない。また、ガラス状炭素に黒鉛粉末を混ぜて複合化した黒鉛／ガラス状炭素複合材料でも、材料の熱伝導率は20～30 W/mK程度である。

【0016】また、一般の黒鉛材料の中には、100 W/mK程度の比較的高い熱伝導率を有するものもあるが、これらはいずれも柔らかく、また発塵するため、LSI用パッケージ等の用途に使用することができない。

【0017】従って、従来材料には、熱伝導性、表面の鏡面性及び熱膨張性の特性並びに製造コストに関して全てを満足するものがなく、特にLSI、マイクロ波集積回路及びレーザ素子集積回路等の高集積化による発熱による影響の回避が、半導体産業において大きな課題であった。

【0018】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、優れた熱伝導性を有すると共に、表面を容易に鏡面研磨することができ、また良好な熱膨張の特性を有し、製造コストを低減することができる高熱伝導性基板及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明に係る高熱伝導性基板は、主成分が硬質炭素からなり鏡面研磨された第1面及びこの第1面の反対側の第2面を有する第1層と、ダイヤモンドからなり前記第2面の一部又は全部に被着された第2層とを有することを特徴とする。また、前記第2層は気相合成により形成されていることが好ましく、また前記第1層にはダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が分散されていることが好ましい。

【0020】本発明に係る高熱伝導性基板の製造方法は、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末に加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、その後少なくとも前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程と、前記第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する工程と、その後再度前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする。

【0021】本発明に係る他の高熱伝導性基板の製造方法は、熱硬化性樹脂粉末、又はダイヤモンド粉末及び／

又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末を、ダイヤモンド粉末が敷かれた型枠内に充填した後、加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、この第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する工程と、前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする。

【0022】本発明に係る他の高熱伝導性基板の製造方法は、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂に加圧加熱成形を施して得られた第1成形体を、ダイヤモンド粉末が敷かれた型枠内に装填した後、不活性ガス雰囲気中で加圧加熱成形してダイヤモンド粉末が埋め込まれた第2成形体を得、得られた第2成形体を不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、この第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する工程と、前記第1層の第1面を鏡面研磨する工程とを有することを特徴とする。

【0023】本発明に係る他の高熱伝導性基板の製造方法は、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末に加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成した後、この成形体の両面を鏡面研磨することにより第1面及び第2面を有する第1層を作製する工程と、その後前記第1層の第2面に自立性のダイヤモンドからなる第2層を接着して加熱処理する工程とを有することを特徴とする。

【0024】

【作用】本願発明者等は優れた熱伝導性を有すると共に、表面を容易に鏡面研磨することができ、また良好な熱膨張の特性を有し、製造コストを低減することができる高熱伝導性基板を開発すべく、種々の実験研究を行った。その結果、主成分が硬質炭素からなり鏡面研磨された第1面及びこの第1面の反対側の第2面を有する第1層において、その第2面に熱伝導率が黒鉛／ガラス状炭素複合材料に比べて2400 W/mKと極めて大きなダイヤモンドからなる第2層を被着させることにより、本発明の目的を達成し得ることを見出した。

【0025】ところで、従来、通常の炭素材料を基板として使用し、この基板上にダイヤモンドを気相合成しても、基板上にダイヤモンド粒子が分散して成長するだけであって、連続的なダイヤモンド膜は形成できないとされてきた。加えて、ダイヤモンドの気相合成の過程において発生する水素プラズマによって、炭素材料がエッチングされ、炭素材料の基板上での連続的なダイヤモンド膜の形成は困難であるとされていた。

【0026】しかし、本願発明者等は、通常の炭素材料がポーラス状であるため、表面積が大きく、水素プラズマのエッチングを受けやすいことが、連続的なダイヤモンド膜の形成を困難にしている原因であることを知見し、密度が高く、表面の鏡面研磨によって表面積を縮小

できる硬質炭素の基板上であれば、連続したダイヤモンド膜を形成できることを見出した。

【0027】この硬質炭素の材料には、種々のものがあり、例えばガラス状炭素、ビトリアスカーボン、グラッシーカーボン、高密度アモルファスカーボン又はフルオロカーボン等を使用することができる。これらの硬質炭素材料は、フェノールホルムアルデヒド樹脂、フルフリルアルコール、ポリアミド、ポリイミド、ビスマレイミドトリアジン又はメラミン樹脂等の熱硬化性樹脂を炭化

焼成することにより得ることができる。具体的には、熱硬化性樹脂原料粉末を型枠内に充填し、加圧加熱することによって、重合反応と炭化反応とを進行させる。

【0028】また、高密度アモルファスカーボンは、炭化焼成後のガラス状炭素を2500℃の温度、2000気圧の圧力で、熱間静水圧加圧処理することによって得ることができる。

【0029】硬質炭素材料のうち、特に代表的なガラス状炭素は、高硬度であり、欠陥がなく耐熱性及び耐薬品性が優れており、また表面研磨すると、シリコンウェハと同程度の極めて良好な鏡面を得ることができる。従って、硬質炭素を主成分とする第1層において、その1面に鏡面研磨を施すことによって、その面は電子部品を実装するのに好適な面となる。

【0030】このように、本発明の硬質炭素及びダイヤモンドの積層体からなる基板は、従来の基板に比して熱膨張率が極めて高い。

【0031】次に、第1層の第2面に被着される第2層及びその被着方法について説明する。

【0032】第2層の厚さ：5μm以上

硬質炭素からなる第1層における第2面の一部又は全部に、ダイヤモンドからなる第2層を被着して構成される高熱伝導性基板において、第2層の厚さは、この基板の熱伝導性に大きな影響を与える。即ち、第2層の厚さが5μmより薄いと、前記高熱伝導性基板の熱伝導性を十分に向上させることができない。従って、前記第1層の第2面に被着させる第2層の厚さは5μm以上とする。

【0033】このように、第2層の厚さは、少なくとも5μm以上であればよいため、ダイヤモンドからなる第2層の形成コストを抑制することができる。なお、第2層の表面にはLSI等を実装しないため、基板の製造コスト上昇の原因となる研磨作業は不要となる。

【0034】また、第2層にボロン(B)をドーピングすると、ダイヤモンド結晶の欠陥密度を低減することができ、前記高熱伝導性基板の熱伝導率をより一層向上させることができる。

【0035】上述したように、通常の炭素材料では、その表面にダイヤモンド膜を気相合成することはできないが、硬質炭素からなる第1層の表面に、ダイヤモンド粉末又はダイヤモンドペーストを使用して、その第2面に機械研磨又は超音波処理によってキズ付け処理を施し、

その面に気相合成によって連続的なダイヤモンド膜を良好な密着性で被着することができる。

【0036】また、機械研磨又は超音波処理によるキズ付け処理の代わりに、ダイヤモンド粉末を前記第1層の第2面に予め塗布しておき、その面にダイヤモンド膜を被着することもできる。

【0037】更に、本願発明者等は予めダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末を第1層の第2面に埋め込んで焼成し、その面に前記ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末を核として気相合成させることによって連続的なダイヤモンド膜の第2層を被着できることを見出した。この場合、前記第1層と前記第2層との密着性は前述した方法によって被着をする場合に比べて優れている。また、第2層が短時間で連続的な膜となり、第1層の表面を覆うため、気相合成時の水素プラズマによって第1層がエッチングされることを防止することができる。

【0038】更にまた、第1層の第2面に直接ダイヤモンド膜を気相合成するのではなく、予め気相合成によって自立性のダイヤモンド膜を作製しておき、これをカーボンペースト又は有機接着剤等によって第1層に接着してもよい。

【0039】なお、このようにしてダイヤモンド膜が形成された高熱伝導性基板の使用時に発生する発熱によって、前記基板の温度が上昇した場合には、ダイヤモンド膜を空気又は冷媒で強制的に冷却することによって前記基板の温度を容易に低下させることができる。これは、気相合成によって形成されたダイヤモンド膜の表面はダイヤモンド結晶面がランダムに配向し、約1μmの凹凸があるため、表面積が大きく、強制冷却の効果が極めて大きいからである。

【0040】次に、第1層にダイヤモンド粉末を分散する場合について説明する。

【0041】本願発明者等は、ダイヤモンド粉末を分散させた第1層の第2面に第2層のダイヤモンド膜を気相合成させると、前記第1層と前記第2層との密着性を、より一層向上させることができることを見出した。これは、前記第1層の第2面に露出したダイヤモンド粉末を核にして、ダイヤモンド膜を成長させて第2層を形成することができるからである。

【0042】第1層の第2面側の表層部におけるダイヤモンド粉末の分散量：50体積%

また、第1層の第2面側の表層部において、ダイヤモンド粉末が50体積%以上分散されていると、ダイヤモンドからなる第2層はこのダイヤモンド粉末を核として速やかに連続膜となるため、気相合成時の水素プラズマによって前記第1層がエッチングされることを防止することができる。従って、第1層における第2面側の表層部におけるダイヤモンド粉末は50体積%以上であることが好ましい。なお、このときのダイヤモンド粉末の平均粒径は0.1~10μmであることが好ましい。

【0043】更に、本願発明者等はダイヤモンド粉末及び黒鉛粉末の分散量と前記第1層の熱伝導率との関係について試験したところ、以下のような結果を得ることができた。図2は縦軸に熱伝導率をとり、横軸に熱硬化樹脂におけるダイヤモンド又は黒鉛の混合比、即ち第1層におけるダイヤモンド又は黒鉛の分散量の割合をとって、第1層の熱伝導率とダイヤモンド等の混合比との関係を示すグラフ図である。この図2に示すように、第1層におけるダイヤモンド粉末等の分散量を調整することによって、第1層の熱伝導率を制御することができ、分散量を増加させることにより、熱伝導率をより一層向上させることができる。

【0044】更にまた、このときダイヤモンド粉末等の分散濃度を、第2層を被着させる第2面ほど高くすると、第1層と第2層との熱膨張率の差による界面のストレスを低減することができる。

【0045】本願発明者等は、ダイヤモンド粉末及び黒鉛粉末の平均粒径と熱伝導率との関係についても試験したところ、以下のような結果を得ることができた。

【0046】ダイヤモンド粉末の平均粒径：0.1乃至50 $\mu$ m

図3は、縦軸に熱伝導率をとり、横軸にダイヤモンド粉末の平均粒径をとって、第1層におけるダイヤモンド粉末の混合比が30重量%である場合の第1層の熱伝導率とダイヤモンド粉末の平均粒径との関係を示すグラフ図である。この図3に示すように、第1層に分散されたダイヤモンド粉末の平均粒径が大きいほど、第1層の熱伝導率を向上させることができる。平均粒径が0.1 $\mu$ m未満では第1層の熱伝導率が小さく、また平均粒径が大きいほど製造コストが高くなってしまうため、その上限値は50 $\mu$ mとすることが好ましい。

【0047】黒鉛粉末の平均粒径：0.5乃至50 $\mu$ m  
第1層に黒鉛粉末を分散する場合も、前述のダイヤモンド粉末を分散させる場合と同様に、平均粒径が大きいほど第1層の熱伝導率を向上させることができ、その平均粒径は0.5乃至50 $\mu$ mであることが好ましく、この範囲内であれば、より一層分散性を向上させることができる。

【0048】なお、第1層にダイヤモンド粉末等を分散させずに、第1層の第2面にダイヤモンド粉末を塗布することにより、ダイヤモンド膜を成長させて第2層を形成することもできる。具体的には、ダイヤモンド粉末を有機溶媒、低粘性樹脂又は感光樹脂に分散させて、この有機溶媒等を前記第1層の第2面に塗布する。そして、ダイヤモンドを前記第1層の第2面に気相合成すると、塗布されたダイヤモンド粉末を核としてダイヤモンドが成長し、連続的なダイヤモンド膜である第2層を形成することができる。また、このときのダイヤモンド粉末の平均粒径は0.1乃至5 $\mu$ mであることが好ましい。これは、ダイヤモンド粉末が0.1 $\mu$ m未満では熱伝導率

を十分に向上させることができず、また5 $\mu$ mを超えると、ダイヤモンド粉末が前記第1層の第2面に付着しにくくなり、更に気相合成したダイヤモンドと第1層の密着性も失われてしまうからである。

【0049】このように、第1層の第2面にダイヤモンド粉末等を塗布して、この面上にダイヤモンドからなる第2層を気相合成する場合には、使用するダイヤモンド粉末等の量が少なくてもよい。ため、基板の製造コストを低減することができる。

【0050】次に、本発明に係る高熱伝導性基板の製造方法について、製造方法A、B、C及びDの4種の製造方法を説明する。

【0051】製造方法Aでは、先ず、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末に加圧加熱成形を施して成形体を得る。この成形体を不活性ガス雰囲気中で焼成することによって、第1層を作製する。そして、少なくともこの第1層の第1面に鏡面研磨を施しておく。次に、前記第1層の第2面にダイヤモンド膜を気相合成させる。そして、再度前記第1面に鏡面研磨を施す。

【0052】製造方法Bでは、先ず、熱硬化性樹脂粉末、又はダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末を、ダイヤモンド粉末が敷かれた型枠内に充填する。その後、この充填粉末に加圧加熱成形を施して得られた成形体を、不活性ガス雰囲気中で焼成することによって、第1層を作製する。次に、この第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成させる。そして、前記第1層の第1面に鏡面研磨を施す。

【0053】製造方法Cでは、先ず、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂に加圧加熱成形を施して得られた第1成形体を、ダイヤモンド粉末が敷かれた型枠内に装填する。その後、不活性ガス雰囲気中で加圧加熱成形してダイヤモンド粉末が埋め込まれた第2成形体を得る。この第2成形体を不活性ガス雰囲気中で焼成することにより第1層を作製する。次に、この第1層の第2面にダイヤモンドからなる第2層を気相合成させる。そして、前記第1層の第1面に鏡面研磨を施す。

【0054】製造方法Dでは、先ず、ダイヤモンド粉末及び／又は黒鉛粉末が混合された熱硬化性樹脂粉末に加圧加熱成形を施して成形体を得る。この成形体を不活性ガス雰囲気中で焼成した後、この成形体の両面に鏡面研磨を施して第1層を作製する。次に、この第1層の第2面に自立性のダイヤモンドからなる第2層を接着して加熱処理を施す。

【0055】以上のようにして、本発明に係る高熱伝導性基板を製造することができるが、上述の製造方法A～Dの方法によって第1層を作製した後、次のようにして第2層を形成してもよい。即ち、第1面に鏡面研磨が施

された前記第1層の第2面に、ダイヤモンド粉末が分散された有機溶媒、低粘性樹脂又は感光樹脂を塗布する。次いで、前記ダイヤモンド粉末を核としてダイヤモンドからなる第2層を気相合成させる。そして、前記第1層の第1面に再度鏡面を施して、高熱伝導性基板を製造する。

【0056】また、第2層を気相合成する場合において、ダイヤモンド結晶の欠陥密度を低減させるために、ボロン(B)をドーピングして気相合成することが好ましい。

【0057】次に、本発明に係る高熱伝導性基板の製造方法における熱処理の温度について説明する。

【0058】加圧加熱成形処理、焼成処理及び加熱処理の処理温度：600乃至1500℃

本発明に係る高熱伝導性基板を製造する場合に、種々の熱処理を行う。例えば、ダイヤモンド粉末等が分散された熱硬化性樹脂粉末に施す加圧加熱成形処理、この処理によって得られた成形体に施す焼成処理、それに焼成処理によって得られた第1層に第2層として自立性のダイヤモンド膜を接着させる加熱処理である。

【0059】これらの熱処理はいずれも600乃至1500℃の温度で行うことが好ましい。これは、処理温度が600℃未満では炭化が進まず、また1500℃を超えるとダイヤモンドの炭素化が急速に進み過ぎてしまうからである。なお、より好ましくは800乃至1200℃である。

【0060】なお、ダイヤモンド膜は水素雰囲気中で気相合成されるため、気相合成後、熱処理等によって炭素基板に吸収された水素の除去を要する場合もあり、その場合も上記範囲の処理温度で熱処理することが好ましい。

【0061】以上の種々の製造方法によって、優れた熱伝導性を有すると共に、表面を容易に鏡面研磨することができ、良好な熱膨張の特性を有する高熱伝導性基板を得ることができる。

【0062】

【実施例】以下、本発明の実施例について、具体的に説明する。まず、本発明の実施例の説明に先立ち、第2層としてのダイヤモンド膜の有無の影響を比較するために、第1層としての炭素基板にダイヤモンド膜を被着させないで作製した基板について説明する。

【0063】第1比較例

まず、本比較例では、フェノールフォルムアルデヒド樹脂粉末65重量%、平均粒径5μmの黒鉛粉末25重量%を均一に混合し、この混合粉を水に分散させて、適量の界面活性剤を添加した後、スプレー・ドライヤによって平均粒径30μmの造粒粉を作製した。

【0064】次に、この造粒粉を金型に装填し、温度：160～180℃、圧力：100kgf/cm<sup>2</sup>で、ホットプレス成形して、縦横100mm、厚さ2mmの成

形体を作製した。

【0065】そして、この成形体を高純度の黒鉛板に挟み、窒素気流中において1150℃の温度で焼成して基板を製造した。このときの焼成パターンは、200℃の温度で5時間保持した後、450℃まで5℃/時間、850℃まで10℃/時間、1150℃まで20℃/時間の速度で昇温し、最後に1150℃の温度で5時間保持した。

【0066】その後、基板の上面を粒径#1000のSiC砥粒でラッピングした後、粒径#8000のアルミナ砥粒で研磨した。研磨後の表面粗さは、平均粗度Ra：20Å、最大粗度R<sub>max</sub>：150Åであった。

【0067】以上のようにして炭素基板を作製し、この炭素基板の熱膨張係数及び熱伝導率を測定した結果、夫々3.2×10<sup>-6</sup>/℃及び20W/mKであった。

【0068】第2比較例

まず、本比較例では、フェノールフォルムアルデヒド樹脂粉末55重量%、平均粒径5μmの黒鉛粉末25重量%及びダイヤモンド粉末20重量%を均一に混合して、この混合粉を水に分散させ、この溶液に適量の界面活性剤を添加した。その後、スプレードライヤーによって平均粒径30μmの造粒粉を作製した。

【0069】その後、上述の第1比較例と同様にして、硬質炭素基板を作製した。このときの研磨後の表面粗さは、平均粗度Ra：10Å、最大粗度R<sub>max</sub>：120Åであった。

【0070】この第2比較例の炭素基板の熱膨張係数及び熱伝導率は、ダイヤモンドを分散したものであるもので、夫々2.7×10<sup>-6</sup>/℃及び42W/mKと第1比較例より熱伝導率が高かった。

【0071】次に、主成分が硬質炭素からなる炭素基板にダイヤモンド膜を被着させた本発明に係る高熱伝導性基板の実施例について説明する。

【0072】第1実施例

まず、本実施例では、フェノールフォルムアルデヒド樹脂粉末75重量%、平均粒径5μmの黒鉛粉末25重量%を均一に混合し、これを金型に装填して、温度：140℃、圧力：100kgf/cm<sup>2</sup>で加熱成形した。次いで、金型の内面にダイヤモンド粉末を均一に分散させ、このダイヤモンド粉末上に前記加熱成形によって得られた成形体を置いて、再度、温度：160℃、圧力：150kgf/cm<sup>2</sup>で加熱成形した。

【0073】この再度の加熱成形によって得られた成形体には、その片面の厚さ方向に約0.5mmの厚さのダイヤモンド粉末分散層が形成された。なお、この成形体を電子顕微鏡で観察した結果、成形体の表面においてダイヤモンドが占める面積は約65%であった。

【0074】そして、この成形体を高純度の黒鉛板に挟み、窒素気流中において1150℃の温度で焼成した。このときの焼成パターンは、上述の第1比較例における



焼成パターンと同様である。

【0075】次に、成形体のダイヤモンド粉末が固定された面をバフ研磨し、清浄なダイヤモンド面を露出させて、この面にマイクロ波CVD装置によってダイヤモンド膜を合成した。なお、原料ガスとしては、メタン：1～5%を水素希釈したもの（全流量：100sccm）を使用し、基板温度：800～850℃、反応室のガス圧：30～60Torrで一定に保持して、20時間気相合成した。その結果、厚さが20μmのダイヤモンド膜が成長した。そして、最後に、炭素基板の上面に上述の第1比較例と同様の方法で鏡面研磨を施した。

【0076】以上のようにして作製した高熱伝導性基板を図1に示す。この図1に示すように、高熱伝導性基板1は、主成分が硬質炭素材料4からなり、これにダイヤモンド粒5及び黒鉛粒6が分散した炭素基板2の下面（第2面）にダイヤモンド膜3を気相合成したものである。特に、炭素基板2の下面（第2面）にはダイヤモンド粒を多く含む層が形成されているため、炭素基板2の下面（第2面）にはダイヤモンド膜3を良好に被着させることができた。また、高熱伝導性基板1の上面（第1面）は鏡面研磨を施し、このときの研磨後の表面粗さは、平均粗度Ra：1.0Å、最大粗度R<sub>max</sub>：120Åであった。

【0077】以上のようにして高熱伝導性基板1を作製し、この基板の熱膨張係数及び熱伝導率を測定した結果、夫々 $2.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 及び48W/mKであった。

【0078】以上の製造条件のうち気相合成における時間等を変えてダイヤモンド膜の厚さが異なる各種の高熱伝導性基板を作製した。そのときのダイヤモンド膜の厚さと基板の熱伝導率との関係を図4のグラフ図で示す。なお、このときの炭素基板の厚さはいずれも1.5mmである。

【0079】この図4に示すように、ダイヤモンド膜の厚さが厚いほど熱伝導率が高くなることがわかる。

#### 【0080】第2実施例

本実施例では、上述の第1比較例と同様の方法によって硬質炭素からなる炭素基板を作製した。この炭素基板の下面に厚さが30μmのダイヤモンド膜を形成し、最後に前記炭素基板の上面（第1面）に鏡面研磨を施して、高熱伝導性基板を作製した。

【0081】この高熱伝導性基板の熱伝導率を測定したところ、上述の第1実施例と略同様の値であった。

【0082】なお、炭素基板上にダイヤモンド膜を形成するための表面処理として、①ダイヤモンド・ペーストによるバフ研磨、②ダイヤモンド粉末による超音波キズ

付け処理、③平均粒径0.2μmのダイヤモンド粉末を分散させた感光樹脂の塗布、を行ったが、いずれの表面処理を施した場合も熱伝導率には相違がなかった。

#### 【0083】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、アモルファス材料に類似した微結晶構造を有する硬質炭素からなる第1層の第2面に、ダイヤモンドからなる第2層を被着させて基板を構成するので、基板の熱伝導性を著しく向上させることができる。また、第1層の第1面は容易に鏡面研磨することができるため、電子部品を実装するのに好適の極めて優れた表面精度を得ることができる。加えて、硬質炭素材料は熱膨張係数がシリコンウェハの値に略等しいため、前記基板に実装される電子部品において、両者が熱膨張する際であっても断線等が発生することがなく、極めて微細な回路を形成することができる。

【0084】更に、本発明に係る高熱伝導性基板を使用することにより、極めて放熱特性が優れ、小型化した高密度の高集積回路のパッケージを安価に製造することができる。更にまた、硬質炭素材料の比重は1.5～1.8と小さいため、パッケージの軽量化を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係る高熱伝導性基板を示す模式的断面図である。

【図2】縦軸に熱伝導率をとり、横軸に熱硬化樹脂におけるダイヤモンド又は黒鉛の混合比をとって、炭素基板の熱伝導率とダイヤモンド等の混合比との関係を示すグラフ図である。

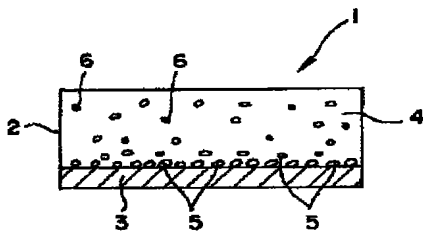
【図3】縦軸に熱伝導率をとり、横軸にダイヤモンド粉末の平均粒径をとって、炭素基板におけるダイヤモンド粉末の混合比が30重量%である場合の炭素基板の熱伝導率とダイヤモンド粉末の平均粒径との関係を示すグラフ図である。

【図4】縦軸に熱伝導率をとり、横軸にダイヤモンド膜の厚さをとって、炭素基板の厚さが1.5mmである場合の高熱伝導性基板の熱伝導率とダイヤモンド膜の厚さとの関係を示すグラフ図である。

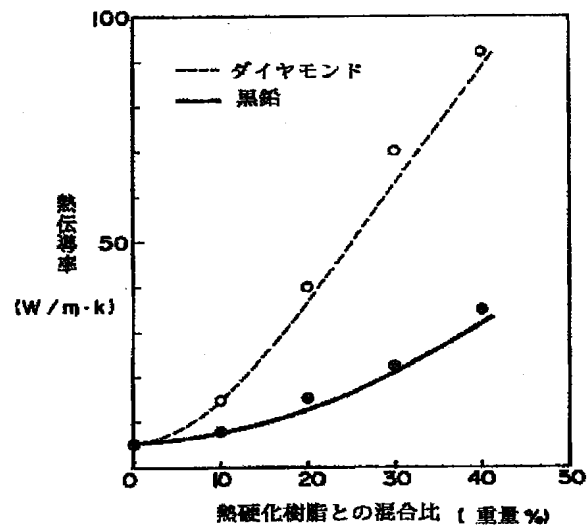
#### 【符号の説明】

- 1；高熱伝導性基板
- 2；炭素基板
- 3；ダイヤモンド膜
- 4；硬質炭素材料
- 5；ダイヤモンド粒
- 6；黒鉛粒

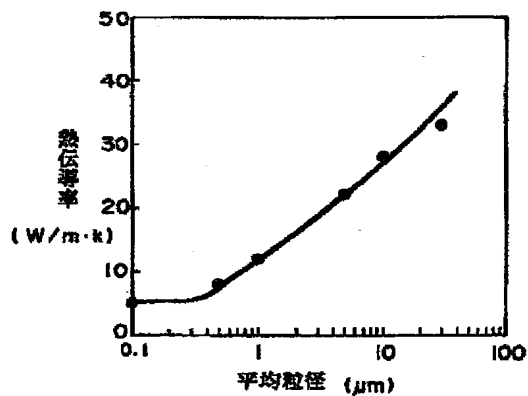
【図1】



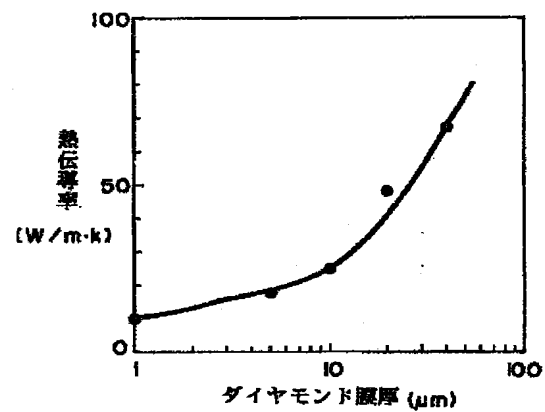
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 小橋 宏司  
兵庫県神戸市西区高塚台1丁目5番5号  
株式会社神戸製鋼所神戸総合技術研究所内

(72)発明者 河合 明博  
兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号  
株式会社神戸製鋼所神戸本社内

JP-A-9-102562

[Claims for the Patent]

[Claim 1]

A high-heat-conductivity substrate characterized by comprising a first layer having a first surface composed mainly of a hard carbon material and finished to be a specular surface, and a second surface opposed to the first surface; and a second layer composed of diamond and deposited on a part of or the entire of said second surface.

[Claim 2]

The high-heat-conductivity substrate according to claim 1, characterized in that said second layer is formed by vapor-phase synthesis.

[Claim 3]

The high-heat-conductivity substrate according to one of claims 1 and 2, characterized in that diamond grains and/or graphite grains are scattered in said first layer.

[Claim 4]

The high-heat-conductivity substrate according to claim 3, characterized in that the concentration of said diamond grains is higher in the second surface side than in the first surface side of said first layer.

[Claim 5]

The high-heat-conductivity substrate according to one of claims 3 and 4, characterized in that the average particle diameter of said diamond grains is 0.1 to 50  $\mu\text{m}$ , and the average particle diameter of said graphite grains is 0.5 to 50  $\mu\text{m}$ .

[Claim 6]

The high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 3 to 5, characterized in that said second layer is a vapor-phase grown diamond film using said diamond grains as nuclei.

[Claim 7]

The high-heat-conductivity substrate according to

any one of claims 1 to 6, characterized in that the second surface of said first layer is subjected to a scratching treatment by mechanical polishing and an ultrasonic treatment using diamond grains or a diamond paste.

[Claim 8]

The high-heat-conductivity substrate according to claim 1, characterized in that said second layer is formed by applying diamond grains onto the second surface of said first layer, and vapor-phase growing using the diamond grains as nuclei.

[Claim 9]

The high-heat-conductivity substrate according to claim 8, characterized in that the average grain diameter of said diamond powder is 0.1 to 5  $\mu\text{m}$ .

[Claim 10]

The high-heat-conductivity substrate according to claim 9, characterized in that at least 50% by volume of said diamond grains are scattered in the outer-layer portion on the second surface side of said first layer.

[Claim 11]

The high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 1 to 10, characterized in that the thickness of said second layer is at least 5  $\mu\text{m}$ .

[Claim 12]

The high-heat-conductivity substrate according to claim 1, characterized in that said second layer is a self-standing diamond film formed by a separate vapor-phase synthesis.

[Claim 13]

The high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 1 to 12, characterized in that said second layer can be forcedly cooled.

[Claim 14]

The high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 1 to 13, characterized in that said second layer is doped with boron.

## [Claim 15]

A method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate characterized by comprising a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by sintering in an inert-gas atmosphere a formed body obtained by forming, under pressure and heat, the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains; a step for specular finishing at least the first surface of said first layer; a step for vapor-phase synthesizing a second layer composed of diamond on the second surface of said first layer; and a step for specular finishing the first surface of said first layer again.

## [Claim 16]

A method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate characterized by comprising a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by sintering in an inert-gas atmosphere a formed body obtained by filling the powder of a thermosetting resin, or the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains, in a mold on which diamond grains are spread, and then forming, under pressure and heat, the powder; a step for vapor-phase synthesizing a second layer composed of diamond on the second surface of said first layer; and a step for specular finishing the first surface of said first layer.

## [Claim 17]

A method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate characterized by comprising a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by filling a first formed body obtained by forming, under pressure and heat, the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains, in a mold on which diamond grains are spread, and then forming, under pressure and heat, the first formed body in an inert-gas atmosphere to obtain a second formed body wherein diamond grains are buried, and sintering the obtained second formed

body in an inert-gas atmosphere; a step for vapor-phase synthesizing a second layer composed of diamond on the second surface of the first layer; and a step for specular finishing the first surface of said first layer.

[Claim 18]

A method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate characterized by comprising a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by sintering in an inert-gas atmosphere a formed body obtained by forming, under pressure and heat, the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains and then specular finishing both surfaces of the formed body; and a step for performing heat treatment for adhering a second layer composed of self-standing diamond to the second surface of said first layer.

[Claim 19]

The method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 15 to 18, characterized in that all of said forming under pressure and heat, said sintering, and said heat treatment are carried out at a temperature of 600 to 1500°C.

[Claim 20]

The method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 15 to 18, characterized by further comprising a step for specular finishing the first surface of the first layer obtained by said steps; a step for applying an organic solvent, a low-viscosity resin or a photosensitive resin in which diamond grains are scattered onto the second surface of said first layer; a step for growing a second layer composed of diamond using said diamond grains as nuclei; and a step for specular finishing the first surface of said first layer again.

[Claim 21]

The method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to any one of claims 15 to 20, characterized in that said second layer is doped with

boron.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application Field]

The present invention relates to a package substrate for mounting electronic parts thereon, such as high-integrated and high-speed LSIs, and more specifically, to a high-heat-conductivity substrate that excels in heat dissipation effects and the method for the manufacture thereof.

[0002]

[Conventional Art]

In recent years, with the downsizing of electronic devices, the integration degree of semiconductor devices has been increasingly elevated, and higher integration degree and high reliability have been demanded in packages wherein semiconductor elements are mounted.

[0003]

For example, since packages and multilayer substrates using alumina substrate excel in higher integration degrees and high reliability, they have been heretofore most frequently used. In particular, a hybrid integrated circuit whose circuit is miniaturized by forming a conductor wiring and dielectric layer on the alumina substrate to hybridize, hybridization integrated circuit (HIC) has been widely used in consumer semiconductor packages.

[0004]

In addition, for ultra LSIs used in a super large computer, multi-pin PGAs, microwave high-output transistors, optical function elements and the like, demands for higher integration and higher output are elevated. Therefore, as the materials for substrate for mounting semiconductors, excellent surface smoothness, a coefficient of thermal expansion close to that of the silicon material that constitutes a semiconductor bare chip, a high heat conductivity, and a high dimensional accuracy have been

required. In particular, in the case of substrates for mounting highly integrated circuits, since the life of the element is shortened and the characteristics of the element are lowered if the temperature of the semiconductor is elevated, the substrates that sufficiently dissipate heat are required.

[0005]

For satisfying such demands, packages using aluminum nitride (AlN) substrate, which has a higher heat conductivity than the heat conductivity of alumina substrate, packages provided with alumina heat dissipating fins and the like have been developed. The basic structures of such packages are a film multilayer type, wherein circuit conductors and dielectric materials are laminated on a ceramic substrate, such as alumina and AlN, by screen printing or photoengraving; and a green sheet laminate type, wherein the circuit is printed on a green sheet such as alumina, and laminated.

[0006]

Examples of methods for mounting LSIs include a pin grid array (PGA) package used in multi-pin LSIs, a flat package used in ultra high speed integrated circuits, and leadless chip carriers used in low-temperature devices.

[0007]

Although the above-described aluminum nitride excels in heat conductivity and workability, and is suitable as the material of the substrate for high integration and high speed LSI packages, since the costs of the material powder are high, and the manufacturing process is complicated, it is difficult to lower the manufacturing costs of the LSI package. In fact, the price of aluminum nitride material powder manufactured by a reduction nitriding method is about 100 times the price of conventionally used alumina powder.

[0008]

Generally, since the heat conductivity of aluminum



nitride depends on the lattice vibration of the crystal, it is influenced by contamination due to oxygen, iron, nickel, silicon or the like. Therefore, since it is required to use high-purity material powders and to strictly conduct atmosphere control during manufacturing, much expense is required for manufacturing facilities, and the manufacturing costs are elevated.

[0009]

Meanwhile, the heat conductivity of diamond is highest in various substances (2400 W/mK), and it is said to be an intrinsically optimal material for a high-heat-conductivity substrate. However, the size of diamond naturally produced or synthesized at a high temperature and a high pressure is as small as several millimeters square, and in addition, it is expensive. Therefore, since it has become technically possible to synthesize a diamond film on a substrate having a diameter of several inches by vapor-phase synthesis, it is recently tried to synthesize a thick film of diamond using a vapor-phase synthesis method and to use it as a high-heat-conductivity substrate.

[0010]

As the vapor-phase synthesis methods of diamond, a microwave chemical vapor deposition (CVD) method (JP-B-59-27754, JP-B-61-3320, etc.), a high-frequency plasma CVD method, a hot filament CVD method, a direct current plasma CVD method, a plasma jet method, a combustion method, a thermal CVD method and the like have been known.

[0011]

[Problems to be Solved by the Invention]

However, when a high-quality diamond film having an excellent heat conductivity by vapor-phase synthesis, the growing rate of diamond must be 1  $\mu\text{m/hr}$  or lower, and it takes a time as long as 500 hours to synthesize a diamond plate having a thickness of about 0.5 mm, which raises the manufacturing costs compared with other materials. Moreover, since diamond has the highest hardness of substances, a long

time is required for the specular finishing of the surface and the manufacturing costs of the diamond plate are elevated.

[0012]

Furthermore, since the area of a diamond plate that can be subjected to specular finishing is at largest about 1 cm square, diamond is not suitable to a high-heat-conductivity substrate for LSIs, which requires an area of at least several centimeters square.

[0013]

In addition, since materials, such as diamond, have coefficients of thermal expansion significantly different from the coefficient of thermal expansion of silicon that constitutes LSI elements, when the LSI elements are mounted on the diamond substrate, the LSI elements are peeled of, or lines are broken due to temperature change. The coefficients of thermal expansion of diamond, alumina, aluminum nitride, and silicon are  $1.2 \times 10^{-6}$ ,  $8 \times 10^{-6}$ ,  $5 \times 10^{-6}$ , and  $3 \times 10^{-6}$   $^{\circ}\text{C}$ , respectively.

[0014]

Whereas, hard carbon materials represented by glasslike carbon and graphite/glasslike carbon composite material have coefficients of thermal expansion close to the coefficient of thermal expansion of silicon, and can easily obtain a specular surface by polishing. Specifically, the coefficients of thermal expansion of glasslike carbon and a glasslike carbon/graphite composite material are  $3 \times 10^{-6}$  and  $3.2 \times 10^{-6}$ , respectively. However, hard carbon materials are inferior in heat conductivity compared with high-heat-conductivity materials, such as aluminum nitride. Specifically, the heat conductivities of glasslike carbon, and graphite/glasslike a carbon composite material, and aluminum nitride are 5, 22, and 220 W/mK, respectively.

[0015]

Although the heat conductivity of a graphite crystal itself on the same plane is as extremely high as 1600

to 2000 W/mK, the heat conductivity in the direction perpendicular to the plane is low. Therefore, in glasslike carbon whose crystals have no orientation, the heat conductivity of the material is as low as about 10 to 20 W/mK. Even in the graphite/glasslike carbon composite material formed by mixing graphite grains in glasslike carbon, the heat conductivities of the material are about 20 to about 30 W/mK.

[0016]

Although certain general graphite materials have relatively high heat conductivities of about 100 W/mK, since any of these are soft and produce dust, these cannot be used in applications of LSI packages or the like.

[0017]

Therefore, none of conventional materials satisfies all the characteristics of heat conductivity, surface specularity, and thermal expansion, and manufacturing costs. In particular, the avoidance of effects by heating due to high integration of LSIs, microwave integrated circuits, and laser element integrated circuits was a large problem in the semiconductor industry.

[0018]

Taking the solution of such problems into consideration, it is an object of the present invention to provide a high-heat-conductivity substrate having an excellent heat conductivity, easily enabling specular finishing the surface, having preferable thermal expansion characteristics, and enabling the reduction of manufacturing costs; and a method for the manufacture thereof.

[0019]

[Means for Solving the Problems]

A high-heat-conductivity substrate according to the present invention is characterized by including a first layer having a first surface composed mainly of a hard carbon material and finished to be a specular surface, and a second surface opposed to the first surface; and a second layer

composed of diamond and deposited on a part of or the entire of the second surface. It is preferable that the second layer is formed by vapor-phase synthesis; and it is preferable that diamond grains and/or graphite grains are scattered in the first layer.

[0020]

A method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to the present invention is characterized by including a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by sintering in an inert-gas atmosphere a formed body obtained by forming, under pressure and heat, the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains; a step for specular finishing at least the first surface of the first layer; a step for vapor-phase synthesizing a second layer composed of diamond on the second surface of the first layer; and a step for specular finishing the first surface of the first layer again.

[0021]

Another method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to the present invention is characterized by including a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by sintering in an inert-gas atmosphere a formed body obtained by filling the powder of a thermosetting resin, or the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains, in a mold on which diamond grains are spread, and then forming, under pressure and heat, the powder; a step for vapor-phase synthesizing a second layer composed of diamond on the second surface of the first layer; and a step for specular finishing the first surface of the first layer.

[0022]

Another method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to the present invention is characterized by including a step for fabricating a first

layer having a first surface and a second surface by filling a first formed body obtained by forming, under pressure and heat, the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains, in a mold on which diamond grains are spread, and then forming, under pressure and heat, the first formed body in an inert-gas atmosphere to obtain a second formed body wherein diamond grains are buried, and sintering the obtained second formed body in an inert-gas atmosphere; a step for vapor-phase synthesizing a second layer composed of diamond on the second surface of the first layer; and a step for specular finishing the first surface of the first layer.

[0023]

Another method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to the present invention is characterized by including a step for fabricating a first layer having a first surface and a second surface by sintering in an inert-gas atmosphere a formed body obtained by forming, under pressure and heat, the powder of a thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains and then specular finishing both surfaces of the formed body; and a step for performing heat treatment for adhering a second layer composed of self-standing diamond to the second surface of the first layer.

[0024]

[Operation]

The present inventors carried out various experiments and studies to develop a high-heat-conductivity substrate that has an excellent heat conductivity, easily enables specular finishing a surface, has favorable thermal expansion characteristics, and can reduce the manufacturing costs. As a result, in the first layer having a first surface composed mainly of a hard carbon material and finished to be a specular surface and a second surface opposed to the first surface, by depositing a second layer composed of diamond, which has as extremely high heat

conductivity as 2400 W/mK compared with the heat conductivity of a graphite/glasslike carbon composite material on the second surface thereof, it was found that the object of the present invention can be achieved.

[0025]

Meanwhile, it was conventionally said that even if an ordinary carbon material is used as a substrate, on which diamond is vapor-phase synthesized, diamond grains are scattered and grown on the substrate, and a continuous diamond film cannot be formed. In addition, it was said that the carbon material is etched by hydrogen plasma generated in the process of the vapor-phase synthesis of diamond, and the formation of a continuous diamond film on the substrate of a carbon material is difficult.

[0026]

However, the present inventors found that the cause of difficulty to form a continuous diamond film is that since ordinary carbon materials are porous, the surface area is large and the carbon materials are easily etched by hydrogen plasma, and found that a continuous diamond film can be formed on a hard carbon substrate that has high density and can reduce the surface area by the specular finishing of the surface.

[0027]

As materials for the hard carbon, various materials can be used. For example, glasslike carbon, bitrious carbon, glassy carbon, high-density amorphous carbon, or fluorocarbon and the like can be used. These hard carbon materials can be obtained by the carbonization burning of thermosetting resins, such as phenol-formaldehyde resin, furfuryl alcohol, polyamide, polyimide, bismaleimide triazine, and melamine resins. Specifically, the powder of a thermosetting resin raw material is filled in a mold, compressed, and heated to allow polymerization reaction and carbonization reaction to proceed.

[0028]

High-density amorphous carbon can also be obtained by the hot hydrostatic compression treatment of glasslike carbon after carbonization burning at a temperature of 2500°C and a pressure of 2000 atmospheres.

[0029]

Among hard carbon materials, especially typical glasslike carbon has a high hardness, has no defects, and excels in heat resistance and chemical resistance. When the surface thereof is polished, an extremely favorable specular surface of the same degree of a silicon wafer can be obtained. Therefore, in the first layer mainly composed of hard carbon, the surface becomes the plane suitable for mounting electronic parts by performing specular finishing on a surface.

[0030]

As described above, the substrate composed of the laminate of hard carbon and diamond according to the present invention has extremely high coefficient of thermal expansion compared with conventional substrates.

[0031]

Next, the second layer deposited on the second surface of the first layer, and a method for depositing thereof will be described.

[0032]

Thickness of the second layer: 5  $\mu$ m or thicker

In a high-heat-conductivity substrate constituted by depositing a second layer composed of diamond on a part of or the entire second surface in a first layer composed of hard carbon, the thickness of the second layer has a large effect to the heat conductivity of the substrate. Specifically, if the thickness of the second layer is thinner than 5  $\mu$ m, the heat conductivity of the high-heat-conductivity substrate cannot be sufficiently improved. Therefore, the thickness of the second layer deposited on the second surface of the first layer is 5  $\mu$ m or thicker.

[0033]

As described above, since the thickness of the second layer can be at least 5  $\mu\text{m}$ , the costs for forming the second layer composed of diamond can be suppressed. Since no LSI or the like is mounted on the surface of the second layer, no polishing operation causing the elevation of the manufacturing costs of the substrate is required.

[0034]

If the second layer is doped with boron (B), the defect density of diamond crystals can be reduced, and the heat conductivity of the high-heat-conductivity substrate can be further improved.

[0035]

As described above, although a diamond film cannot be vapor-phase synthesized on the ordinary carbon materials, if a diamond grains or diamond paste is used on a surface of the first layer composed of hard carbon, and a scratching treatment is performed on the second surface by performing mechanical polishing or ultrasonic treatment, a continuous diamond film can be deposited on the surface in a favorable adhesiveness by vapor-phase synthesis.

[0036]

In place of the scratching treatment by mechanical polishing or ultrasonic treatment, diamond grains can be previously applied onto the second surface of the first layer, and the diamond film can also be deposited on the surface.

[0037]

Furthermore, the present inventors found that the second layer of a continuous diamond film can be deposited by previously burying diamond grains and/or graphite grains in the second surface of the first layer and sintering, and by performing vapor-phase synthesis using diamond grains and/or graphite grains as nuclei on the surface. In this case, the adhesion between the first layer and the second layer is superior to adhesion when the second layer is deposited using the above-described method. In addition, since the second



layer becomes a continuous film in a short time, and coats the surface of the first layer, the etching of the first layer by hydrogen plasma during the vapor-phase synthesis can be prevented.

[0038]

Furthermore, in place of the vapor-phase synthesis of the diamond film directly on the second surface of the first layer, a self-standing diamond film can be previously fabricated by vapor-phase synthesis, and can be adhered on the first layer by a carbon paste or an organic adhesive.

[0039]

If the temperature of the substrate is elevated by heat generated in the use of the high-heat-conductivity substrate on which the diamond film is thus formed, the temperature of the substrate can be easily lowered by forcibly cooling the diamond film by air or a refrigerant. This is because the effect of forced cooling is extremely large, because the crystal faces of diamond are randomly oriented on the surface of the diamond film formed by vapor-phase synthesis, there are irregularities of about 1  $\mu\text{m}$ , and the surface area is large.

[0040]

Next, the case wherein diamond grains are scattered in the first layer will be described.

[0041]

The present inventors found that the adhesion between the first layer and the second layer can be further improved if the diamond film of the second layer is vapor-phase synthesized on the second surface of the first layer wherein diamond grains are scattered. This is because the second layer can be formed by growing the diamond film using the diamond grains exposed on the second surface of the first layer as nuclei.

[0042]

Dispersion of diamond grains on the outer layer portion in second surface side of first layer: 50% by volume

If 50% by volume or more diamond grains are scattered in the outer layer portion of the second surface side of the first layer, since the second layer composed of diamond rapidly becomes a continuous film using the diamond grains as nuclei, the etching of the first layer by hydrogen plasma during vapor-phase synthesis can be prevented. Therefore, the quantity of the diamond grains in the outer layer portion of the second surface side of the first layer is preferably 50% by volume or more. The average particle diameter of the diamond grains at this time is preferably 0.1 to 10  $\mu\text{m}$ .

[0043]

Furthermore, the present inventors tested for the relationship between the scattered quantities of the diamond grains and the graphite grains, and the heat conductivity of the first layer, and the following results could be obtained. Figure 2 is a graph showing the relationship between the heat conductivities of the first layer and the mixing ratios of diamond or graphite in a thermosetting resin, specifically, the proportion of the scattered quantity of diamond or graphite in the first layer, wherein the heat conductivities are plotted on the ordinate, and the mixing ratios of diamond or the like are plotted on the abscissa. As shown in Figure 2, by adjusting the scattered quantity of diamond grains or the like in the first layer, the heat conductivity of the first layer can be controlled, and by increasing the scattered quantity, the heat conductivity can be further improved.

[0044]

Furthermore, if the concentration of scattered diamond grains or the like is raised as the second surface on which the second layer is deposited, the stress of the interface due to the difference in the heat expansion between the first layer and the second layer can be reduced.

[0045]

The present inventors also tested for the

relationship between the average particle diameter and the heat conductivity of diamond grains and graphite grains, and the following results were obtained.

[0046]

Average particle diameter of diamond grains: 0.1 to 5.0  $\mu\text{m}$

Figure 3 is a graph showing the relationship between the heat conductivities of the first layer when the mixing ratio of diamond grains in the first layer is 30% by weight and the average particle diameter of the diamond grains, wherein the heat conductivities are plotted on the ordinate, and the average particle diameter of diamond grains are plotted on the abscissa. As shown in Figure 3, as the average particle diameter of the diamond grains scattered in the first layer is larger, the heat conductivity of the first layer can be improved. Since the heat conductivity of the first layer is lower when the average particle diameter is smaller than 0.1  $\mu\text{m}$ , and the manufacturing costs are elevated as the average particle diameter is larger, the upper limit of the average particle diameter is preferably 50  $\mu\text{m}$ .

[0047]

Average particle diameter of graphite grains: 0.5 to 5.0  $\mu\text{m}$

When graphite grains are scattered in the first layer, in the same manner as in the above-described case of scattering diamond grains, larger average particle diameters can more improve the heat conductivity of the first layer, and the average particle diameter is preferably 0.5 to 50  $\mu\text{m}$ . In this range, scattering can be further improved.

[0048]

By applying diamond grains in the second surface of the first layer, in place of scattering diamond grains or the like in the first layer, a diamond film can be grown to form the second layer. Specifically, diamond grains are scattered in an organic solvent, a low-viscosity resin, or a photosensitive resin, and the organic solvent or the like is applied onto the second surface of the first layer. Then, when diamond is vapor-phase synthesized on the second surface

of the first layer, diamond is grown using the applied diamond grains as nuclei, the second layer, which is a continuous diamond film, can be formed. The average particle diameter of the diamond grains at this time is preferably 0.1 to 5  $\mu\text{m}$ . This is because if the particle diameter of the diamond grains is smaller than 0.1  $\mu\text{m}$ , the heat conductivity cannot be satisfactorily improved, and if the particle diameter exceeds 5  $\mu\text{m}$ , it becomes difficult that the diamond grains are adhered on the second surface of the first layer, and furthermore, the adhesion between vapor-phase synthesized diamond and the first layer is also lost.

[0049]

As described above, in the case wherein diamond grains or the like are applied onto the second surface of the first layer, and the second layer composed of diamond is vapor-phase synthesized thereon, since the quantity of diamond grains or the like can be small, the manufacturing costs of the substrate can be reduced.

[0050]

Next, among the method for manufacturing a high-heat-conductivity substrate according to the present invention, four manufacturing methods A, B, C, and D will be described.

[0051]

In the manufacturing method A, first, thermosetting resin powder mixed with diamond grains and/or graphite grains is formed under pressure and heat to obtain a formed body. The formed body is sintered in an inert gas atmosphere to fabricate a first layer. Then, specular finishing is performed on at least the first surface of the first layer. Next, a diamond film is vapor-phase synthesized on the second surface of the first layer. Then, specular finishing is performed again on the first surface.

[0052]

In the manufacturing method B, first, thermosetting resin powder, or thermosetting resin powder mixed with

diamond grains and/or graphite grains is filled in a mold on which diamond grains are spread. Thereafter, a formed body obtained by forming this filled powder under pressure and heat is sintered in an inert gas atmosphere to fabricate a first layer. Next, a second layer composed of diamond is vapor-phase synthesized on the second surface of the first layer. Then, specular finishing is performed on the first surface of the first layer.

[0053]

In the manufacturing method C, first, a first formed body obtained by forming, under pressure and heat, thermosetting resin mixed with diamond grains and/or graphite grains is filled in a mold on which diamond grains are spread. Thereafter, the first formed body is formed under pressure and heat in an inert gas atmosphere to obtain a second formed body wherein diamond grains are buried. The second formed body is sintered in an inert gas atmosphere to fabricate a first layer. Next, a second layer composed of diamond is vapor-phase synthesized on the second surface of the first layer. Then, specular finishing is performed on the first surface of the first layer.

[0054]

In the manufacturing method D, first, thermosetting resin powder mixed with diamond grains and/or graphite grains is formed under pressure and heat to obtain a formed body. After sintering the formed body in an inert gas atmosphere, specular finishing is performed on both surfaces of the formed body to fabricate a first layer. Next, a heat treatment is performed for adhering a second layer composed of self-standing diamond to the second surface of the first layer.

[0055]

Although a high-heat-conductivity substrate according to the present invention can be manufactured as described above, after fabricating the first layer by the above-described manufacturing methods A to D, the second

layer can be formed as described below. Specifically, onto the second surface of the first layer whose first surface has been subjected to specular finishing, an organic solvent, a low-viscosity resin, or a photosensitive resin in which diamond grains are scattered is applied. Next, the second layer composed of diamond is vapor-phase synthesized using the diamond grains as nuclei. Then, specular finishing is again performed on the first surface of the first layer to manufacture the high-heat-conductivity substrate.

[0056]

In the case wherein the second layer is vapor-phase synthesized, it is preferable to dope with boron (B) before vapor-phase synthesis in order to reduce the defective density of diamond crystals.

[0057]

Next, the temperature for heat treatment in the manufacturing method of the high-heat-conductivity substrate according to the present invention will be described.

[0058]

Temperatures in forming under pressure and heat, sintering, and heat treatment: 600 to 1500°C

In the case wherein the high-heat-conductivity substrate according to the present invention is manufactured, various heat treatments are carried out. The examples of heat treatments include the forming under pressure and heat of thermosetting resin powder wherein diamond grains or the like are scattered, the sintering of the formed body obtained by the forming under pressure and heat, and the heat treatment for adhering a self-standing diamond film as the second layer to the first layer obtained by the sintering.

[0059]

Each of these heat treatments is preferably carried out at a temperature of 600 to 1500°C. This is because if the treatment temperature is lower than 600°C, little carbonizing takes place; and if the treatment temperature exceeds 1500°C, the carbonization of diamond rapidly

proceeds. The temperature is more preferably 800 to 1200°C.  
[0060]

Since the diamond film is vapor-phase synthesized in a hydrogen atmosphere, there may be the case wherein the removal of hydrogen absorbed in the carbon substrate by heat treatments or the like after vapor-phase synthesis, and in such a case, it is preferable to perform heat treatments at the treatment temperature also within the above-described range.

[0061]

According to the above-described various manufacturing methods, a high-heat-conductivity substrate having an excellent heat conductivity, as well as the surface thereof can be easily subjected to specular finishing, and having favorable heat expansion characteristics can be obtained.

[0062]

[Examples]

Hereafter, examples of the present invention will be specifically described. Before the description of the examples of the present invention, in order to compare the effect of the presence of a diamond film as the second layer, a substrate fabricated without depositing the diamond film on a carbon substrate as the first layer will be described.

[0063]

#### First Comparative Example

Firstly, in this comparative example, 65% by weight of phenol-formaldehyde resin powder and 25% by weight of graphite grains having an average particle diameter of 5  $\mu\text{m}$  were evenly mixed, the mixed powder was dispersed in water, and after adding a suitable quantity of a surfactant, granules having an average particle diameter of 30  $\mu\text{m}$  were fabricated using a spray drier.

[0064]

Next, the granules were filled in a mold, and molded with a hot press at a temperature of 160 to 180°C and

under a pressure of 100 kgf/cm<sup>2</sup> to fabricate a formed body of 100 mm square and 2 mm thick.

[0065]

Then, the formed body was sandwiched by high-purity graphite plates, and sintered in a nitrogen flow at a temperature of 1150°C to manufacture a substrate. The sintering pattern at this time was maintained at a temperature of 200°C for 5 hours, elevating to 450°C in the rate of 5°C/hr, to 850°C in the rate of 10°C/hr, and to 1150°C in the rate of 20°C/hr, then finally was maintained at a temperature of 1150°C for 5 hours.

[0066]

Thereafter, the upper surface of the substrate was lapped with SiC abrasive grains of a grain diameter of #1000, and then, polished with alumina abrasive grains of a grain diameter of #8000. The surface roughness after polishing was average roughness  $R_a$  of 20 angstroms and maximum roughness  $R_{max}$  of 150 angstroms.

[0067]

A carbon substrate was fabricated as described above, and the coefficient of thermal expansion and the heat conductivity of the carbon substrate were measured. The results were  $3.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , and 20 W/mK, respectively.

[0068]

#### Second Comparative Example

Firstly, in this comparative example, 55% by weight of phenol-formaldehyde resin powder, 25% by weight of graphite grains and 20% by weight of diamond grains each having an average particle diameter of 5  $\mu\text{m}$  were evenly mixed, the mixed powder was dispersed in water, and a suitable quantity of a surfactant was added to the solution. Thereafter, granules having an average particle diameter of 30  $\mu\text{m}$  were fabricated using a spray dryer.

[0069]

Thereafter, in the same manner as in the above-described first comparative example, a hard carbon substrate



was fabricated. The surface roughness after polishing at this time was average roughness  $R_a$  of 10 angstroms and maximum roughness  $R_{max}$  of 120 angstroms.

[0070]

The coefficient of thermal expansion and the heat conductivity of the carbon substrate according to the second comparative example were  $2.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , and 42 W/mK, respectively, and the heat conductivity was higher than the heat conductivity of the first comparative example because diamond was scattered.

[0071]

Next, the examples of high-heat-conductivity substrates according to the present invention wherein a diamond film is deposited on a carbon substrate composed mainly of hard carbon will be described.

[0072]

#### First Example

Firstly, in this example, 75% by weight of phenol-formaldehyde resin powder and 25% by weight of graphite grains having an average particle diameter of 5  $\mu\text{m}$  were evenly mixed, the mixed powder was filled in a mold, and hot-molded at a temperature of  $140^{\circ}\text{C}$  under a pressure of 100  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ . Next, diamond grains were evenly scattered on the inner surface of the mold, and on the diamond grains, the formed body obtained by the above-described hot molding was placed and hot-molded again at a temperature of  $160^{\circ}\text{C}$  under a pressure of 150  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ .

[0073]

On the formed body obtained by the second hot molding, a diamond grain scattered layer having a thickness of about 0.5 mm was formed in the thickness direction of a surface thereof. As a result of the electron microscopic observation of the formed body, the area occupied by diamond on the surface of the formed body was about 65%.

[0074]

Then, the formed body was sandwiched by a high-

purity graphite plates, and sintered in nitrogen flow at 1150°C. The sintering pattern at this time was same as in the above-described first comparative example.

[0075]

Next, the surface of the formed body on which the diamond grains are fixed was puff polished to expose a clean diamond plane, and a diamond film was synthesized on this plane using a microwave CVD apparatus. As the material gas, methane diluted by hydrogen to have a content of 1 to 5% (total flow rate: 100 sccm) was used, and vapor-phase synthesis was performed for 20 hours maintaining the substrate temperature at 800 to 850°C and the gas pressure in the reaction chamber of 30 to 60 Torr constantly. As a result, a diamond film having a thickness of 20  $\mu\text{m}$  was grown. Finally, the upper surface of the carbon substrate was subjected to specular finishing in the same manner as in the above-described first comparative example.

[0076]

The high-heat-conductivity substrate fabricated as described above is shown in Figure 1. As shown in Figure 1, the high-heat-conductivity substrate 1 is composed mainly of hard carbon material 4, and a diamond film 3 is vapor-phase synthesized on the lower surface (second surface) of the carbon substrate 2 on which diamond grains 5 and graphite grains 6 are scattered. In particular, since the layer containing a large quantity of diamond grains was formed on the lower surface (second surface) of the carbon substrate 2, the diamond film 3 could be favorably deposited on the lower surface (second surface) of the carbon substrate 2. The upper surface (first surface) of the high-heat-conductivity substrate 1 was subjected to specular finishing, and the surface roughness after polishing at this time was average roughness  $R_a$  of 10 angstroms and maximum roughness  $R_{\text{max}}$  of 120 angstroms.

[0077]

The high-heat-conductivity substrate 1 was

fabricated as described above, and the measured coefficient of thermal expansion and the heat conductivity of the substrate were  $2.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , and 48 W/mK, respectively.

[0078]

In the above-described manufacturing conditions, the time or the like in vapor-phase synthesis was changed to fabricate various high-heat-conductivity substrates having different thicknesses of diamond films. The relationship between the thicknesses of diamond films and heat conductivities of the substrates is shown in the graph of Figure 4. All of the thicknesses of carbon films at this time were 1.5 mm.

[0079]

As shown in Figure 4, when the thickness of the diamond film is larger, the heat conductivity becomes higher.

[0080]

#### Second Example

In this example, a carbon substrate composed of hard carbon was fabricated in the same manner as in the above-described first comparative example. A diamond film having a thickness of 30  $\mu\text{m}$  was formed on the lower surface of the carbon substrate, and finally, the upper surface (first surface) of the carbon substrate was subjected to specular finishing to fabricate a high-heat-conductivity substrate.

[0081]

As a result of measuring the heat conductivity of the high-heat-conductivity substrate, substantially identical value as the above-described first example was obtained.

[0082]

As the surface treatment for forming the diamond film on the carbon substrate, (1) puff polishing using diamond paste; (2) ultrasonic scratching treatment using diamond grains, and (3) application of photosensitive resin in which diamond grains having a average particle diameter of 2  $\mu\text{m}$  are scattered, were performed; however, no difference in

heat conductivities was found in any surface treatments.

[0083]

[Advantages of the Invention]

As described above, according to the present invention, since a substrate is constituted by depositing a second layer composed of diamond on the second surface of a first layer composed of hard carbon having a microcrystal structure similar to an amorphous material, the heat conductivity can be markedly improved. Furthermore, since the first surface of the first layer can be easily subjected to specular finishing, an extremely excellent surface accuracy suitable for mounting electronic parts can be obtained. In addition, since the hard carbon material has a coefficient of thermal expansion substantially identical to the value of a silicon wafer, in the electronic parts mounted on the substrate, no line breaking occurs even if the both expand by heat, and an extremely fine circuit can be formed.

[0084]

Furthermore, by using a high-heat-conductivity substrate according to the present invention, a package of miniaturized and highly integrated circuits that excels in heat dissipating characteristics can be manufactured at low costs. Moreover, since the specific gravity of the hard carbon material is as low as 1.5 to 1.8, the weight of the package can be reduced.

[Brief Description of the Drawings]

[Figure 1]

Figure 1 is a schematic sectional view showing a high-heat-conductivity substrate according to the example of the present invention.

[Figure 2]

Figure 2 is a graph showing the relationship between the heat conductivities of a carbon substrate and the mixing ratios of diamond or graphite in a thermosetting resin, wherein the heat conductivities are plotted on the ordinate, and the mixing ratios of diamond or the like are

plotted on the abscissa.

[Figure 3]

Figure 3 is a graph showing the relationship between the heat conductivities of a carbon substrate when the mixing ratio of diamond grains in the carbon substrate is 30% by weight and the average particle diameter of the diamond grains, wherein the heat conductivities are plotted on the ordinate, and the average particle diameter of diamond grains are plotted on the abscissa.

[Figure 4]

Figure 4 is a graph showing the relationship between the heat conductivities of a high-heat-conductivity substrate when the thickness of the carbon substrate is 1.5 mm and the thickness of the diamond film, wherein the heat conductivities are plotted on the ordinate, and the thickness of diamond film are plotted on the abscissa.

[Description of Symbols]

- 1; High-heat-conductivity substrate
- 2; Carbon substrate
- 3; Diamond film
- 4; Hard carbon material
- 5; Diamond grains
- 6; Graphite grains

Fig. 1

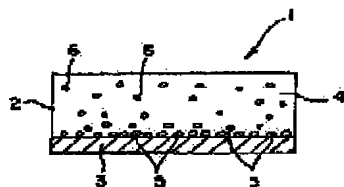
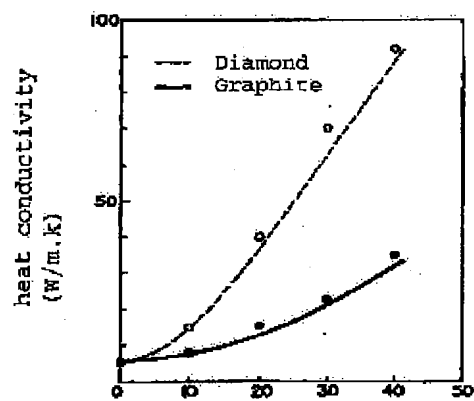


Fig. 2



Mixed ratio with thermosetting resin (% by weight)

Fig. 3

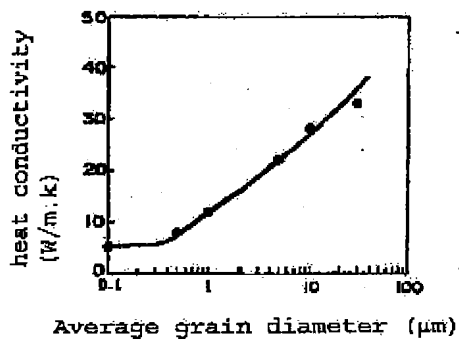


Fig. 4

